

Efeitos da conectividade e da distância hidrológica sobre os padrões de coerência temporal de variáveis limnológicas em um reservatório tropical

Sara Iodi de CARVALHO¹; Luis Mauricio BINI²

^{1,2}Universidade Federal de Goiás, Instituto de Ciências Biológicas, Departamento de Ecologia; Endereço eletrônico: ¹iodi.sara@gmail.com e ²lmbini@gmail.com

Introdução

As dinâmicas temporais de variáveis limnológicas são dependentes de fatores intrínsecos e extrínsecos. Fatores intrínsecos se referem comumente a características específicas do sistema (e.g., padrões de estratificação térmica e composição de espécies) e tendem a exercer maior influência em escalas espaciais locais. Por outro lado, os efeitos de fatores extrínsecos podem ser detectados em escalas espaciais regionais, e comumente consistem em fatores climáticos (e.g. Baines *et al.* 2000, Ghanbari *et al.* 2009). Variáveis fortemente associadas à dinâmica climática podem flutuar sincronicamente. Nesses casos, as séries temporais da variável de interesse, obtidas em diferentes locais, apresentam padrões semelhantes de variação. Forças extrínsecas tendem a homogeneizar o sistema e aumentam o nível de sincronia ou de coerência temporal, e fatores intrínsecos podem diminuir a sincronia entre locais mais distantes. A sobreposição desses efeitos define quão sincrônica é a flutuação da variável, e pode levar à existência de padrões espaciais, como a diminuição dos valores de sincronia com o aumento da distância geográfica (Baines *et al.* 2000, Kendall *et al.* 2000, Koenig 1999).

Estudos anteriores (e.g. Baines *et al.* 2000) foram elaborados em sistemas discretos (i.e., diferentes lagos), consideraram apenas uma série temporal por sistema. Porém, a heterogeneidade existente em um único sistema pode afetar o quão coerentes ou sincrônicas são as trajetórias temporais de uma dada variável mensurada em diferentes locais.

Nesse estudo, avaliamos os níveis de sincronia entre as séries temporais de variáveis limnológicas obtidas em diferentes locais de um reservatório da região Norte do Brasil. Fatores locais tendem a exercer, em geral, maior influência sobre as dinâmicas de variáveis biológicas e químicas quando comparadas com variáveis físicas. Portanto, é esperado que variáveis

biológicas e químicas apresentem menores nível de sincronia do que variáveis físicas. Essa foi a principal expectativa testada nesse estudo.

Material e Métodos

O presente estudo foi realizado com dados obtidos no reservatório Peixe Angical (Estado de Tocantins; 12°18'22"S e 48°15'49"O). Os dados foram obtidos em 14 pontos de coleta entre maio de 2004 e novembro de 2009 ($n = 31$ meses) com frequência de amostragem variável. Vinte variáveis limnológicas foram obtidas seguindo métodos padrões: temperatura da água (temp; °C), pH, condutividade (cond; $\mu\text{S}/\text{cm}$), concentração de oxigênio dissolvido (OD; mg/L), turbidez (turb; NTU), alcalinidade (alcal; $\mu\text{Eq}/\text{L}$), material em suspensão total (MST; mg/L), material em suspensão inorgânico (MI; mg/L), material em suspensão orgânico (MO; mg/L), DBO_5 (mg/L), concentração de sílica (síl; mg/L), clorofila-*a* (cl-*a*; $\mu\text{g}/\text{L}$), fósforo total (PT; $\mu\text{g}/\text{L}$), nitrogênio total Kjeldahl (NT; mg/L), nitrato (nitra; mg/L) e nitrito (nitri; mg/L).

Para cada variável, estimamos coeficientes de correlação de Spearman ($r_{i,j}$) entre as séries temporais obtidas em pares de pontos de coleta (i,j). A média desses coeficiente é a estimativa do nível de sincronia para o reservatório como um todo. Avaliamos o nível de significância desses valores construindo um intervalo de confiança (95%) baseado em um método de re-amostragem (Manley 2008).

Resultados

Os níveis médios de sincronia foram significativos para todas as variáveis ambientais analisadas. Os maiores valores de sincronia ($r_{i,j} \geq 0,8$) foram registrados para as variáveis (químicas) alcalinidade e oxigênio dissolvido. Elevados valores ($r_{i,j}$ entre 0,7 e 0,8) também foram registrados para as variáveis relacionadas com as concentrações de íons (condutividade) e sílica, além daquelas relacionadas com transparência da água (cor e turbidez) e sílica. As demais variáveis apresentaram valores de sincronia menores que 0,7, especialmente clorofila-*a*, DBO_5 e as concentrações das diferentes formas de nitrogênio e fósforo. Inesperadamente, baixos valores de sincronia foram estimados para a variável temperatura da água (física; Figura 1).

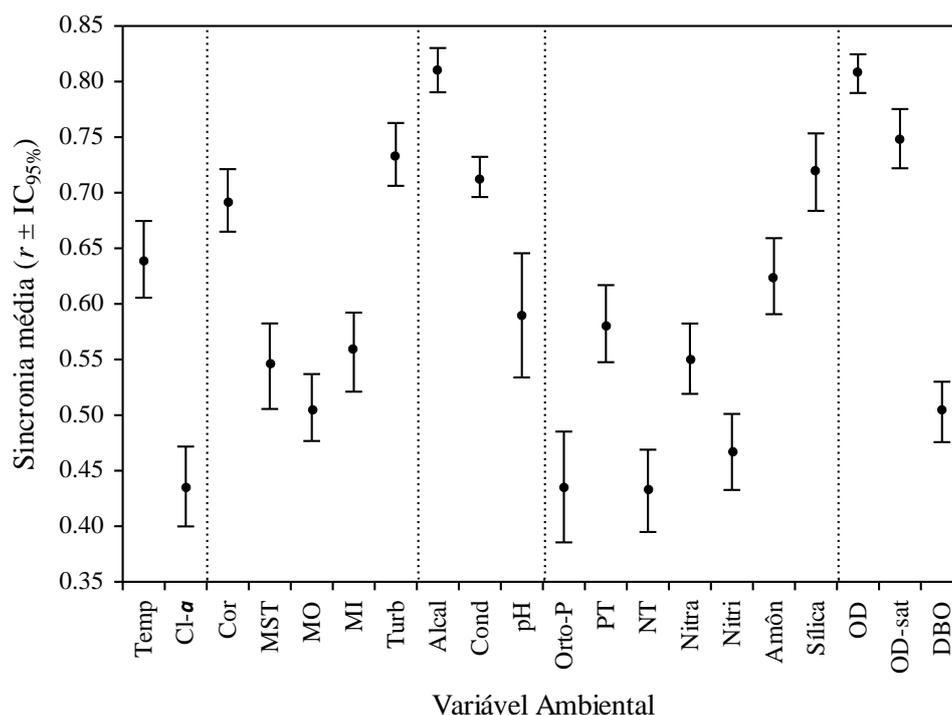


Figura 1: Nível de coerência médio e o intervalo de confiança (95%) estimado para cada uma das 20 variáveis ambientais mensuradas no reservatório de Peixe Angical. Os nomes das variáveis foram abreviados conforme exposto no texto.

Discussão

Em limnologia, os termos “coerência temporal” são utilizados para designar estudos que buscam avaliar quão similares são as dinâmicas temporais de variáveis limnológicas que foram mensuradas em diferentes ambientes (mais comumente lagos; e.g. Baines *et al.* 2000), enquanto que estudos de ecologia de populações com esse enfoque, iniciados por Moran (1953a,b), utilizam os termos “sincronia populacional”. Utilizando esses conceitos, nesse estudo, buscamos avaliar os níveis de sincronia das trajetórias temporais de variáveis limnológicas obtidas em diferentes pontos localizados em um único reservatório (i.e., reservatório de Peixe Angical).

Tendo em vista que (i) somente um ambiente foi analisado e que o (ii) clima (um fator regional extrínseco de acordo com Magnuson *et al.* 1990, Kratz *et al.* 1997) tende a sincronizar as dinâmicas de diferentes variáveis (incluindo populações de animais e plantas; ver Koenig 2002) esperar-se-ia elevados valores de sincronia. De fato, todos os valores de sincronia estimados nesse estudo foram positivos e significativos. No entanto, quando ênfase é dada ao tamanho do efeito, ao invés de simplesmente à significância estatística, os

resultados desse estudo demonstram que os níveis de sincronia estimados são claramente dependentes das variáveis analisadas (George *et al.* 2000). Em vários estudos, os menores e maiores níveis de sincronia foram, geralmente, registrados para variáveis biológicas (e.g., clorofila-*a*) e variáveis físicas (e.g., temperatura da água), respectivamente (Magnuson *et al.* 1990; Kratz *et al.*, 1997). Esses resultados, em geral, co-adunam com aqueles obtidos no presente estudo considerando os menores níveis de sincronia estimados para clorofila-*a*. Variáveis biológicas podem apresentar menores níveis de sincronia tendo em vista a multiplicidade de fatores locais que controlam suas dinâmicas. Por exemplo, mesmo em locais relativamente próximos e com concentrações de nutrientes similares, as dinâmicas temporais das concentrações de clorofila-*a* podem ser diferentes em virtude de diferenças hidrológicas (e.g., tempo de residência da água) entre esses locais (ver Caliman *et al.*, 2010).

Conclusão

Tendo em vista os maiores níveis de sincronia encontrados para variáveis químicas (alcalinidade, oxigênio dissolvido, condutividade, sílica e turbidez), os resultados obtidos no presente estudo foram similares àqueles registrados por George *et al.* (2000). Do ponto de vista teórico, os baixos níveis de sincronia, como encontrados no presente estudo (valores de $r_{i,j}$, em geral, menores que 0,7), indicam a predominância de fatores locais (ou intrínsecos) no controle de diferentes variáveis. Do ponto de vista prático, eles indicam que as dinâmicas temporais observadas, em apenas um local, para variáveis com baixos níveis de sincronia não podem ser extrapoladas (ou regionalizadas) para todo o sistema que está sendo investigado (Stoddard *et al.*, 1998). Esses resultados indicam a necessidade de um conjunto de pontos de coleta para o monitoramento adequado de diferentes características limnológicas do reservatório de Peixe Angical.

Agradecimentos

Este estudo está sendo desenvolvido com apoio da CAPES e CNPq.

Referências Bibliográficas

- Baines, S. B., K. E. Webster, T. K. Kratz, S. R. Carpenter, and J. J. Magnuson. 2000. Synchronous behavior of temperature, calcium, and chlorophyll in lakes of northern Wisconsin. *Ecology* **81**:815-825.
- Caliman, A., L. S. Carneiro, J. M. Santangelo, R. D. Guariento, A. P. F. Pires, A. L. Suhett, L. B. Quesado, V. Scofield, E. S. Fonte, P. M. Lopes, L. F. Sanches, F. D. Azevedo, C. C. Marinho, R. L. Bozelli, F. A. Esteves, and V. F. Farjalla. 2010. Temporal coherence among tropical coastal lagoons: a search for patterns and mechanisms. *Brazilian Journal of Biology* **70**:803-814.
- George, D. G., J. F. Talling, and E. Rigg. 2000. Factors influencing the temporal coherence of five lakes in the English Lake District. *Freshwater Biology* **43**:449-461.
- Ghanbari, R. N., H. R. Bravo, J. J. Magnuson, W. G. Hyzer, and B. J. Benson. 2009. Coherence between lake ice cover, local climate and teleconnections (Lake Mendota, Wisconsin). *Journal of Hydrology* **374**:282-293.
- Kendall, B. E., O. N. Bjornstad, J. Bascompte, T. H. Keitt, and W. F. Fagan. 2000. Dispersal, environmental correlation, and spatial synchrony in population dynamics. *American Naturalist* **155**:628-636.
- Koenig, W. D. 1999. Spatial autocorrelation of ecological phenomena. *Trends in Ecology & Evolution* **14**:22-26.
- Kratz, T. K., K. E. Webster, C. J. Bowser, J. J. Magnuson, and B. J. Benson. 1997. The influence of landscape position on lakes in northern Wisconsin. *Freshwater Biology* **37**:209-217.
- Magnuson, J. J., B. J. Benson, and T. K. Kratz. 1990. Temporal Coherence in the Limnology of A Suite of Lakes in Wisconsin, Usa. *Freshwater Biology* **23**:145-159.
- Manley B.J.F. Métodos estatísticos Multivaridos: Uma introdução. 3, -229. 2008. Artmed Editora S.A.
- Moran, P. A. P. 1953a. The Statistical Analysis of the Canadian Lynx Cycle .1. Structure and Prediction. *Australian Journal of Zoology* **1**:163-173.
- Moran, P. A. P. 1953b. The Statistical Analysis of the Canadian Lynx Cycle .2. Synchronization and Meteorology. *Australian Journal of Zoology* **1**:291-298.
- Stoddard, J. L., C. T. Driscoll, J. S. Kahl, and J. P. Kellogg. 1998. Can site-specific trends be extrapolated to a region? An acidification example for the northeast. *Ecological Applications* **8**:288-299.